

## TREBALLS DE L'ASSIGNATURA. TARDOR 2012

### ÍNDEX

#### 1. TORRE DE COLLSEROLA

Guillem Borrás Macedo/ Guillermo M. Gómez Iglesias



#### 2. PAVELLÓ DE FRANCISCO MANGADO

Samuel Campillo/ Naia Argoitia



#### 3. ESTADI OLÍMPIC DE MUNICH

Marta Falcón Colomé/ Diana Martínez Badia



#### 4. MEDIATECA DE SENDAI

Josep Codinachs/ Guillem Gustems



#### 5. FILARMÓNICA DE BERLÍN

Gabriel Romero/ Irene Larramona



#### 6. PAVELLÓ D'EXPOSICIÓ IBM TRAVELLING

Francesca Maltese/ Miguel Ángel Moreno



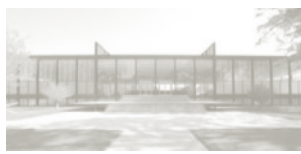
#### 7. TORRE AGBAR

Josep Piqué Montaner/ Laia Prades Riera



#### 8. CROWN HALL

Andrea Gómez/ Irene Serrano



#### 9. PARRÒQUIA SAN JUAN DE ÁVILA

Daniel Meseguer Carceller/ Antonio Planas Portas



#### 10. VELES E VENT

Anaïs Bartra/ Marie Pirs/ Irene García Pérez



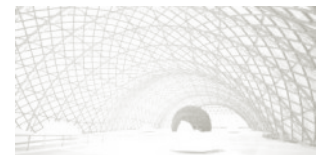
#### 11. DISPENSARI CENTRAL ANTITUBERCULÓS DE BARCELONA

Lorena Hernández Cabello/ Elsa Mampel Vallvé



#### 12. PAVELLÓ DEL JAPÓ A ALEMANYA

Ferran Peralba Garrabou/ Carolina Yuste Barri



#### 13. TORRE PORTA FIRA "FLOR DE LOTO"

Jordi Juanola Rosselló/ Jordi Ma Lu



#### 14. PALAU SANT JORDI DE BARCELONA

Nestor Aymerich/ Elena Justo



#### 15. RESIDÈNCIA D'ESTUDIANTS A SANT CUGAT DEL VALLÈS

Anna Castellà/ Judit Caballero



#### 16. METROPOL PARASOL A SEVILLA

Jordi Ribas/ Martín Botas



#### 17. L'OFFICE PUBLIC D'HABITATIONS À LOYER MODÉRÉ DE LA VILLE DE PARIS

Marc Reniu Eced/ Carme Ribas Tibau



#### 18. CASA DEL LECTOR DE MADRID+ HEMEROSCOPIUM HOUSE+ LA TRUFA

Diana Palade/ Daniel Estevez/ Daniela Fernández



#### 19. Articles interessants de l'assignatura de Construcció industrialitzada i Innovació

Gemma Arjona Martínez/ Verónica Expósito Urgellés



**Obra:** METROPOL PARASOL

**Promotor:** AYUNTAMIENTO DE SEVILLA, SACYR

**Emplaçament:** SEVILLA (PLAZA DE LA ENCARNACIÓN)

**Superfície:** 10500 M2

**Nº plantes:** 26M

**Autor(s):** Jürgen Mayer H., Andre Santer, Marta Ramírez Iglesia, Ana Alonso de la Varga, Jan-Christoph Stockebrand, Marcus Blum, Paul Angelier, Hans Schneider, Thorsten Blatter, Wilko Hoffmann, Claudia Marciniowski, Sebastian Finckh, Alessandra Raponi, Olivier Jacques, Nai Hwei Wang, Dirk Blomeye

**Col·laborador(s):** ARUP GmbH, DIRK BLOMEYER, Coqui-Malachowska-Coqui with Thomas Waldau

**Constructor:** SACYR

**Subcontractista(es):** SACYR

**Proveïdor(s):** FINNEFOREST

**Cost:** 86 MILLONES DE EUROS

**Termini:** 26/06/2005 - 27/05/2010

**Observacions:** COMENTADAS EN CLASE

### Resum de la innovació i comentari:

La innovación se produce por un lado al utilizar un material ya probado y utilizado anteriormente en numerosos proyectos como elemento estructural en interiores, en este caso en un exterior. Y por otro lado en como adaptar este material a las nuevas circunstancias, desarrollando de forma innovadora otro material ya existente para su protección a la intemperie.



### 2 PROYECTO

#### SITUACIÓN HISTÓRICA

El proyecto "Metropol Parasol" se encuentra en el centro de la ciudad de Sevilla, en una plaza que llevaba años sin conseguir la personalidad que dadas sus proporciones se merecía, la plaza de la Encarnación. El ayuntamiento consciente de este problema impulsó un concurso para recuperar esta plaza y volver a convertirla en un lugar especial dentro de esta ciudad. La historia de esta plaza cambió radicalmente en 1948, cuando se demolió el mercado que llevaba funcionando desde el siglo XIX.

La plaza quedó inutilizada durante años, hasta que en 1990 el ayuntamiento decide construir un aparcamiento subterráneo y un mercado de abastos, pero al comienzo de las obras descubrieron importantes restos arqueológicos correspondientes a los periodos romano y andalusí de la ciudad. Esto fue un contratiempo importante y evidente que lo cambiaba todo. La respuesta a esta nueva situación fue lenta, se paralizaron las obras y no es hasta el 2004 cuando se vuelven a sacar concurso público el proyecto de la plaza. El ganador fue el arquitecto Jürgen Mayer que construiría el "Metropol Parasol".

#### USOS ACTUALES

El programa que tenía que resolver, consistía de un museo arqueológico, evidente después de la historia que tiene detrás la plaza, de un mercado, recuperando así su antiguo uso, un mirador, que es toda la "cubierta" y evidentemente un espacio habilitado para la ciudad al que le proporciona sombra.

#### INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

El proyecto nace y muere en la idea del parasol, una sombra para Sevilla y con la protección de convertirse en un icono para la ciudad. Pensado como una estructura ligera, el proyecto tuvo sus complicaciones y se tuvo que sobredimensionar con respecto a las ideas iniciales. Esto resultó un fuerte contratiempo que realmente modificó totalmente su presencia. Tiene unas dimensiones de 150x70m y unos 26 metros de altura, que no sobrepasan las cotas superiores de los edificios de al rededor. Las dimensiones anteriores son las originales, pero los cantos que adquiere la estructura no tienen nada que ver con los primeros.

En un principio se había pensado la estructura de acero, pero las altas temperaturas de Sevilla desaconsejaron esta opción. Al final se adoptó una mezcla entre hormigón y madera. Los apoyos, 6 en total, castigados a grandes compresiones, se resuelven con grandes pilares de hormigón, donde también se desarrollan las instalaciones y las comunicaciones. Cuando empiezan a aparecer otras solicitaciones, tanto a flexión como a cortante, se utiliza la madera. Es el "kerto q" el protagonista de la obra, esta madera utilizada en interiores que se adapta en este caso al exterior representa la innovación del proyecto. Pero dada la complejidad y la dimensión del proyecto, esta madera cede su protagonismo en parte al acero.

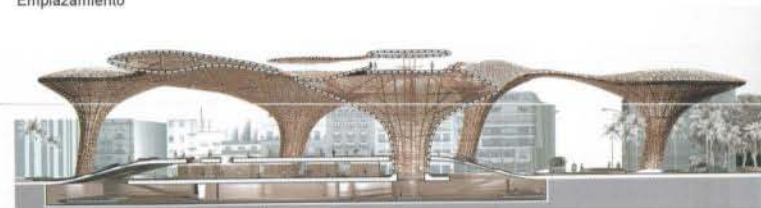
Esta parte del proyecto es quizás la más interesante y la justificación de este trabajo. La utilización de una madera tradicionalmente de interiores y como se adapta al exterior. Nos centraremos en ella y la desarrollaremos más adelante.



Emplazamiento



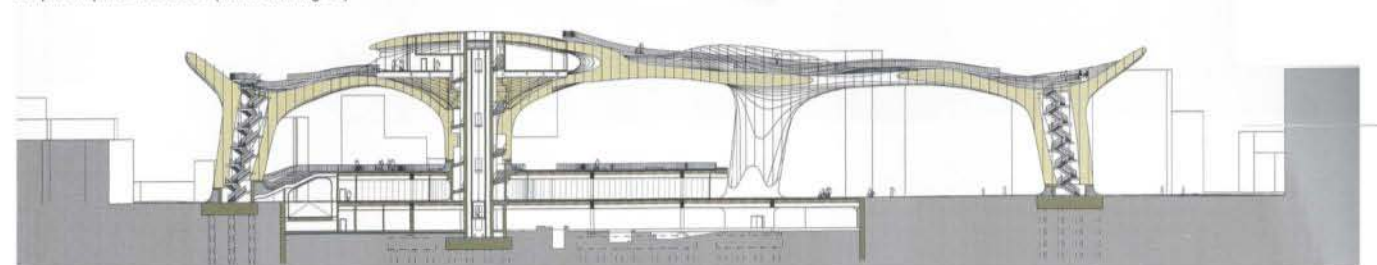
Superposición de capas de proyecto



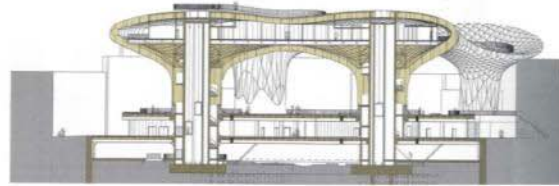
Propuesta para el concurso (mucho más ligera)



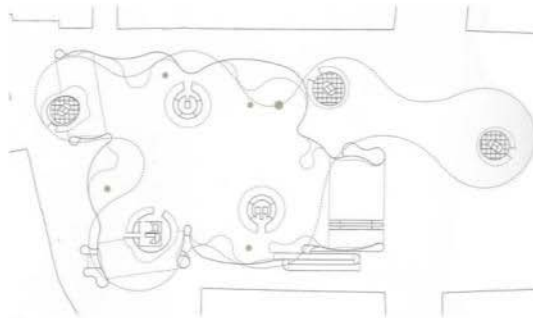
Sección transversal



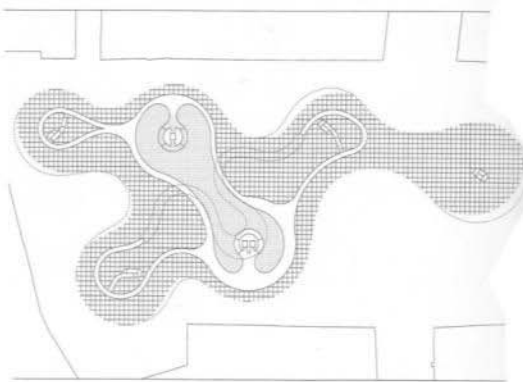
Sección longitudinal por núcleos de comunicaciones



Sección transversal núcleos de comunicación



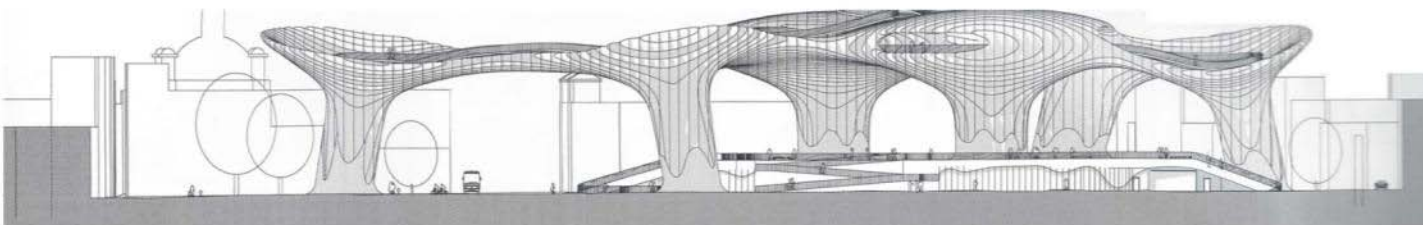
Planta baja



Planta cubierta



Vista aérea



Alzado general

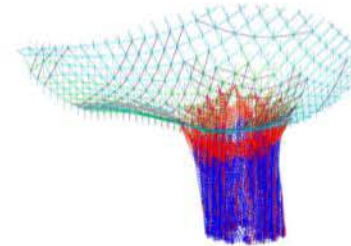
### 1.1 \_ DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La forma del proyecto, aunque no sea muy ortodoxa sí que responde a una lógica estructural. La forma arbórea (de seta, de copa...) facilita el descenso de las cargas. Las ondulaciones y las secciones que va adquiriendo la estructura responden directamente a las solicitaciones.

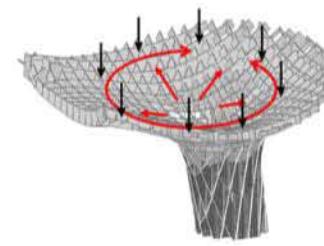
Hay 6 grandes pilares de hormigón que soportan las grandes tensiones de compresión y resuelven el tema de instalaciones y comunicaciones. En el momento en el que empiezan a manifestarse esfuerzos a flexión y cortante la materialidad cambia y se utiliza la madera para resolver los requerimientos. Entre el material, la forma geométrica y la sección solucionan las tensiones. Como hemos dicho anteriormente, al principio se pretendía hacer la obra de acero, pero las altas temperaturas de Sevilla desaconsejaban esta opción, así que finalmente se optó por el "kerto q". Decisión innovadora ya que se trata de un exterior y el kerto q sólo se había utilizado en interiores hasta la fecha. Este es el tema que centra el trabajo y que trataremos más adelante.

Como íbamos diciendo la madera resuelve el problema térmico y se comporta parecido al acero estructuralmente, aunque no igual. Este matiz tiene una gran importancia en el proyecto ya que desde la idea inicial hasta su puesta en obra ha habido un gran cambio, sobre todo en el sobredimensionado de la estructura. Lo que en un principio iba a ser una estructura liviana se convierte en algo de gran sección que se convierte en parte en un problema para la vecindad de la plaza. Además no pude resolverlo todo el material y necesita ayuda de unos tirantes de acero que se van repitiendo en prácticamente cada encuentro.

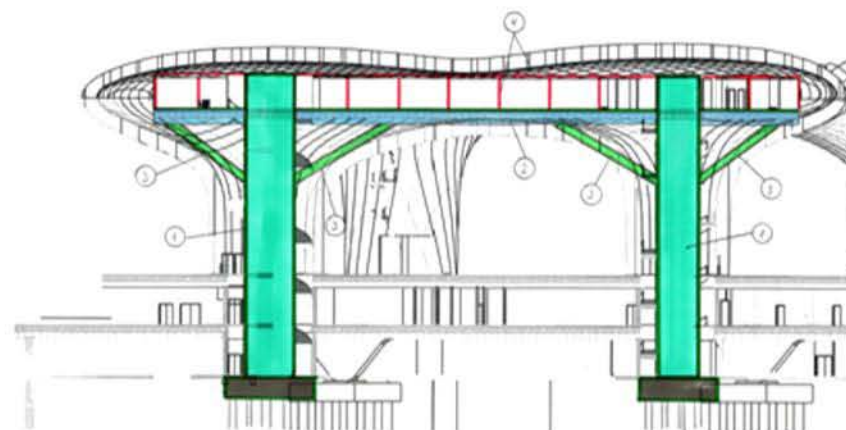
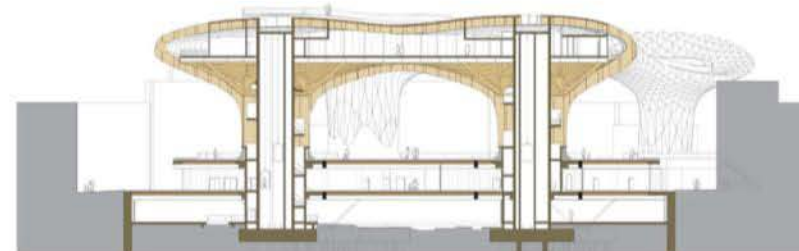
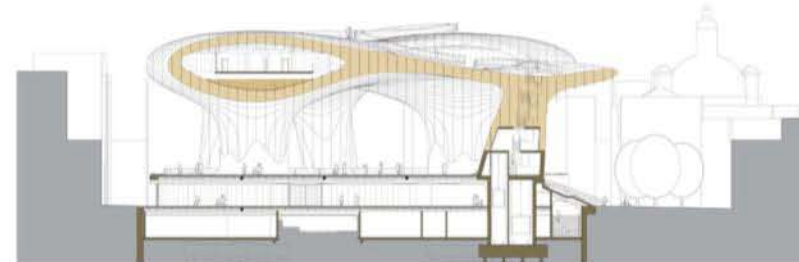
Al final la idea, la geometría es lógica. Pero su materialización con la madera únicamente es imposible, y se tiene que echar mano del acero. Para entenderla los modelos que se utilizan separan la estructura en 6 partes, estudiando una de ellas como ejemplo. Se entiende así el descenso de cargas, la materialidad en las diferentes partes y la sección que va adquiriendo. Después es extrapolar las mismas ideas y principios a las uniones entre estas partes.



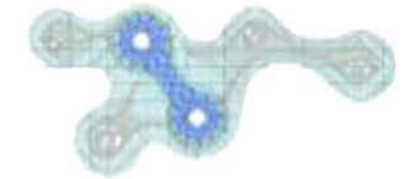
Esquemás de esfuerzos



Esquemás de esfuerzos



Croquis materialidad elementos constructivos según tensiones



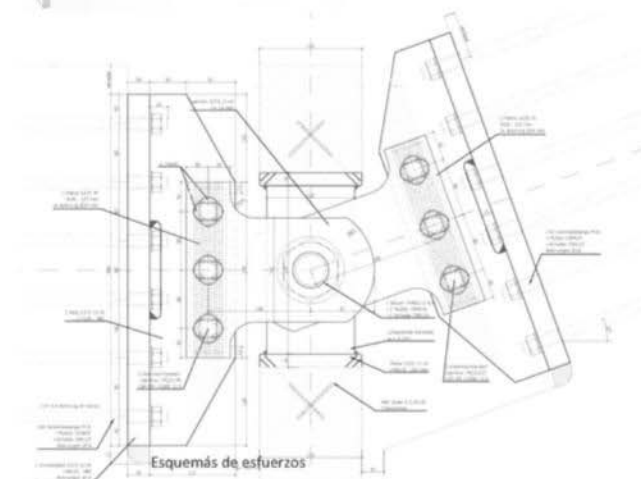
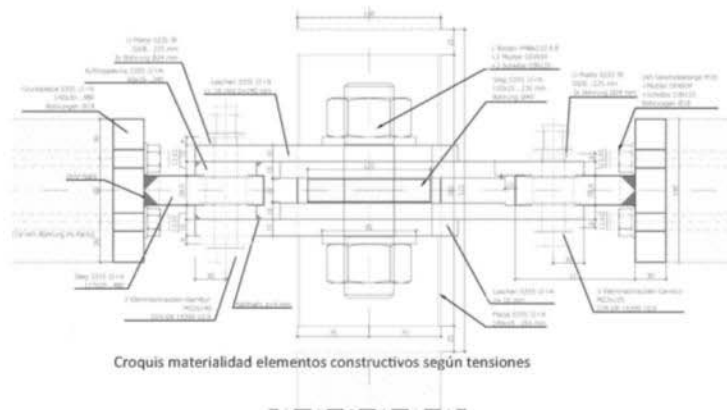
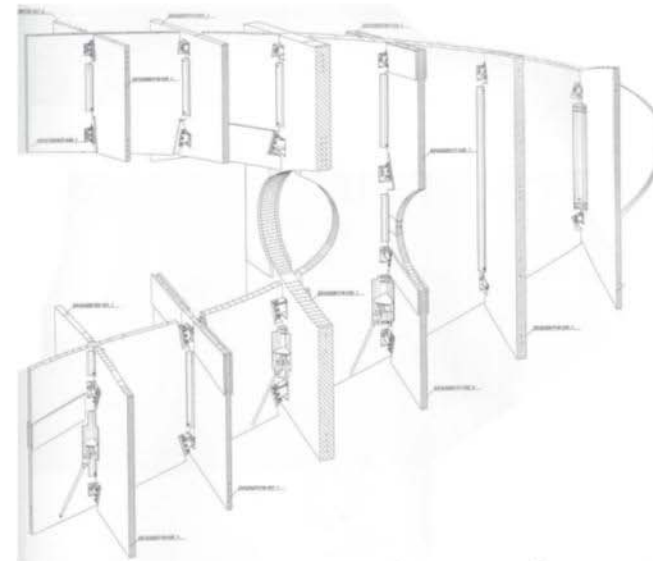
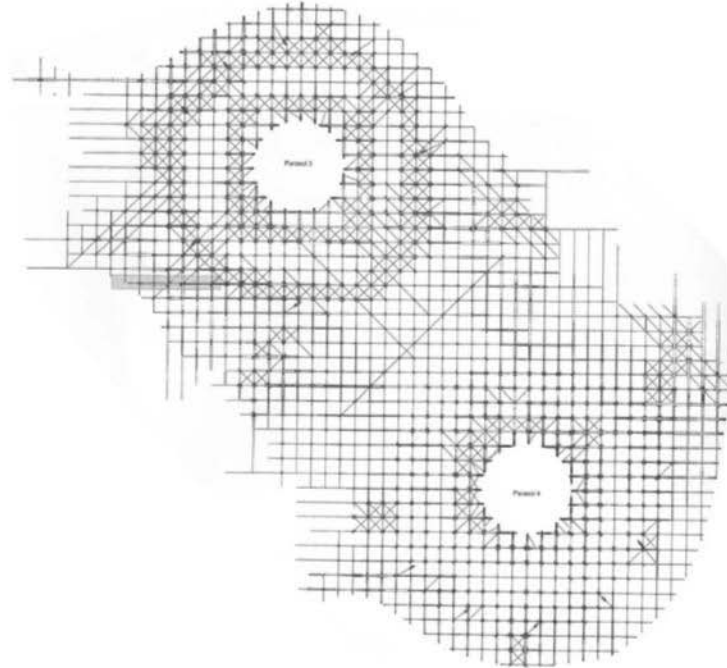
Esquemás de esfuerzos



Esquemàs de esforços



Esquemàs de esforços



### 3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓ DE LA OBRA

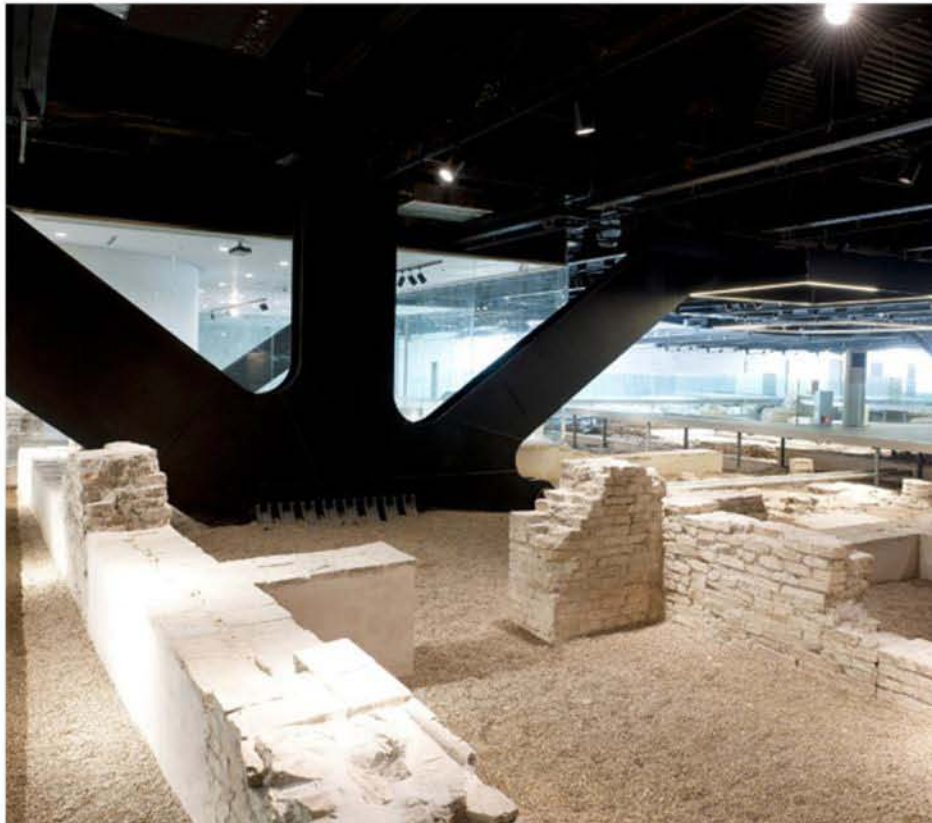
El proyecto de construcción de la obra de Jurgen Mayer lo llevó a cabo la constructora española SACYR, y un ejército de empresas subcontratadas que se encargaron de los diferentes aspectos de esta obra de gran magnitud. La subcontratación corrió a cabo de empresas de la zona, especializadas en determinados campos tecnológicos que la obra requería. Esta construcción se alargó en el tiempo debido a diversos factores, como el encuentro de restos históricos, el cambio de proyecto que supuso el nuevo material principal (KERTO-Q) etc. Esto llevó a la ciudad a más de 6 años de obras hasta ver terminado el Metropol Parasol.

El conjunto de restos históricos encontrados en el subsuelo dónde se había proyectado la obra de Metropol Parasol no fueron únicamente respetados sino que pasaron a formar parte de un proyecto global de recuperación de las ruinas y de equipamiento cultural en este nivel inferior. Actualmente estas ruinas son visitables y quedan totalmente expuestas, siempre protegidas tras los cristales, como se muestra en la fotografía. Si bien es cierto que el encuentro de estos restos en un primer momento pareció un impedimento para la construcción, finalmente se entendió como un valor añadido en el proyecto y como tal se ha materializado.

En su construcción se dieron cita diferentes modalidades y tipologías constructivas, desde los prefabricados de más alta calidad y precisión tanto de los tensores (para fuerzas flectoras) de acero, la estructura de piezas de madera laminada KERTO-Q, hasta la fabricación in-situ de los grandes pilares (bases que sustentan el proyecto en forma de SETA) realizados en hormigón armado de alta resistencia. Estas distintas formas de construcción tenían que ver también con las sollicitaciones de los materiales empleados, con una habilidad evidente en el uso de materiales y explotación de sus mejores cualidades.

Con esto nos referimos al empleo de cada material según sus sollicitaciones y según su capacidad de responder a unas u otras, como es evidente, el uso del hormigón se limitó a las zonas con esfuerzos de compresión dominantes como serían los pilares o bases, la madera se utilizó en conjunto para soportar esfuerzos flectores y los tensores y puntos de unión realizados la mayor parte de ellos en acero se emplearon para la resistencia a esfuerzos cortantes en la estructura y para dar rigidez al conjunto de piezas de madera KERTO-Q.

A continuación se expone una selección de imágenes del proceso constructivo, cabe destacar el transporte de las piezas prefabricadas hasta el lugar de la obra, lo que encareció el proyecto hasta la cifra de 90Me, así como el manejo y movimiento de los mismos en la propia obra, factores que se estudiaron a conciencia por el grupo de técnicos director del proyecto de construcción.







### 2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES (INNOVACIÓN)

El proyecto escogido para estudio, en nuestro caso, el Metropol-Parasol de seviles singular y merecedor de estudio por el conjunto de técnicas innovadoras en mayor o menor grado tanto de sus materiales de construcción como de el proceso constructivo y de puesta en obra (mezcla de elementos prefabricados de gran complejidad técnica y materiales de puesta en obra insitu).

En este campo, el de los materiales, la estructura del proyecto la conforman los paneles de madera KERTO, y más concretamente el KERTO-Q. Este tipo de Kerto se caracteriza por tener un porcentaje de láminas orientadas perpendicularmente. Aproximadamente un 20 % de las mismas, aunque el número exacto de láminas cruzadas varía en función del espesor.

El objeto de cruzar estas láminas es aumentar la estabilidad dimensional frente a los cambios de humedad, y en este caso se consideró el mas acertado para la construcción de una estructura a la intempérie. El KERTO está compuesto por láminas de abeto de 3 mm de espesor, obtenidas por desenrollado. Estas láminas se encolan en primer lugar longitudinalmente por medio de juntas biseladas y posteriormente se encolan entre ellas, superponiéndolas para formar grandes paneles. Esta constitución de láminas le confiere una elevada resistencia mecánica.

Cabe destacar que este material KERTO-Q no fue la primera opción considerada por el arquitecto a la hora de realizar el proyecto, pues inicialmente se pensó para realizarse en ACERO, algo que posteriormente se descartó por las intensas temperaturas de calor que se suceden a lo largo del año en la ciudad de Sevilla y que desaconsejaban el uso de este material colocado en grandes cantidades y a la intemperie, y más cuando el propósito del proyecto era el de configurar un gran parasol en una de las plazas más centrales de Sevilla, como refugio del sol para sus ciudadanos, un espacio capaz de acoger un gran número de personas para realizar distintas actividades al aire libre.

Anteriormente, el uso de este material KERTO, se había centrado en la construcción de elementos estructurales en diferentes edificios y de diferentes tipologías (cerchas, superficies, retículas etc.) pero siempre en una situación en el plano interior del edificio, en ningún caso colocado a la intempérie, como sería la situación del proyecto en estudio. Algunos de estos antecedentes han sido: *La Sala de Fiestas de Garancieres (Francia)*, *Escuela de Bornheim (Alemania)*.

En Metropol-Parasol hubo que realizar una investigación para explorar las posibilidades de proteger este KERTO-Q en la intempérie, pues debemos recordar que está conformado por madera de ABETO y que durante la fabricación del KERTO, no se aplica ningún producto protector. Por lo que su durabilidad natural corresponde a la madera de abeto de la que está formada, juntamente con la utilización de colas FENÓLICAS.

Los ingenieros y arquitectos del proyecto finalmente desarrollaron un sistema capaz de protegerlo, se trataba de un revestimiento de poliuretano de 2 a 3 mm de espesor de color arena, impermeable, pero permeable al vapor. Junto con un acabado final de pintura, "este revestimiento constituye una alternativa completamente inédita y desconocida para este tipo de superficies".

El poliuretano es un conjunto de dos componentes líquidos, poliol e isocianato, que mediante reacción química entre ellos dan lugar a la espuma de Poliuretano.

Historicamente, este material Poliuretano se ha venido usando en la construcción de diversas formas, proyectado, extruido y expandido. Su uso se ha centrado esencialmente como un material aislante térmicamente de grandes propiedades ya que posee una baja densidad y una estructura de celda cerrada, que le confiere el valor de conductividad térmica mas bajo de los materiales aislantes habitualmente utilizados en construcción. Esto le permite alcanzar las exigencias de aislamiento térmico del Código Técnico de Edificación (CTE), con el mínimo espesor.



CONSTRUCCIÓN METROPOL PARASOL

### PROCESO DE FABRICACIÓN DEL KERTO-Q

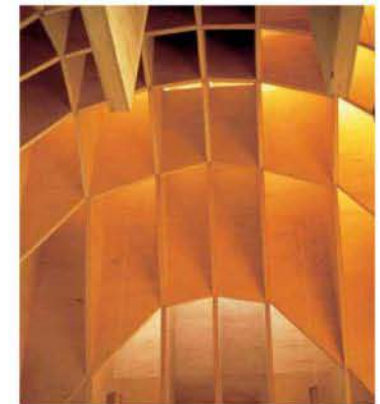


El proceso de fabricación del KERTO se compone de las siguientes fases:

- Corte y humidificación de las tronzas. Las tronzas son descortezadas y humedecidas para facilitar el desenrollado.
- Desenrollado. Las tronzas son desenrolladas en láminas de 3 mm de espesor, las cuales son cortadas en piezas para permitir su manipulación.
- Secado. La láminas son secadas hasta una humedad aprox del 5 %.
- Medición de densidad y clasificación. Se mide individualmente la densidad de las láminas, y en función de los valores de densidad y su aspecto visual se las clasifica.
- Encolado. En primer lugar se realiza el encolado de las juntas biseladas "scarfs", y posteriormente el encolado de las caras.
- Prensado. Se realiza en dos fases: una primera en frío, en la que sólo se aplica presión y en una segunda fase en caliente, en la que se aplica presión y calor, el tiempo de permanencia en la prensa es función del espesor de las piezas.
- Corte, embalaje y expedición.



IMAGEN DE LA ELABORACIÓN DE UN PANEL KERTO-Q PARA EL METROPOL PARASOL



IGLESIA KERTO-Q EN ALEMANIA



SALA DE FIESTAS EN GARANCIERES (FRANCIA)



ESCUELA DE BORNHEIM (ALEMANIA)

### 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL KERTO-Q

La madera microlaminada KERTO, destaca en dos aspectos fundamentales:

#### Alta resistencia:

Entre los materiales utilizados habitualmente en estructuras de madera, es el de mayor resistencia.

Resistencia característica a la flexión :

Kerto-S .....	44 N/mm <sup>2</sup>
Madera Laminada GL28 .....	28 N/mm <sup>2</sup>
Madera maciza C18 .....	18 N/mm <sup>2</sup>

#### Explicación:

##### A Selección de la densidad

Durante el proceso de fabricación del Kerto, se realiza una selección de las láminas en función de la densidad, utilizándose únicamente las láminas de mayor densidad.

En la madera existe una relación directa entre la densidad y resistencia

Densidad Kerto: 480 Kg/m<sup>3</sup>. GL 28: 380 Kg/m<sup>3</sup>

##### B Disminución de la influencia de los defectos por nudos



#### Piezas de poco espesor:

Al fabricarse piezas de poco espesor presentan una serie de ventajas:

##### A Optimización de la sección.



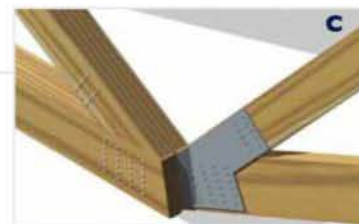
##### B Formación de cajones

Con este sistema se optimiza la cantidad de material, frente al efecto de pandeo, cuando las piezas trabajan a compresión.

##### C Planos múltiples:

En las uniones con placas metálicas. Es muy sencillo colocar varias placas, con lo que se optimiza la unión al aumentar los planos de cizallamiento.

##### D Permite su utilización como panel



Para el cálculo del Kerto según el Documento Básico Seguridad Estructural-Madera (SE-M), basado en el Eurocódigo-5 se deben utilizar los siguientes valores y coeficientes. El método de cálculo es el indicado en dicha norma.

#### Coefficiente Kdef según el EC-5. Final Draft

Coefficiente parcial de seguridad  $\gamma_m$   $\gamma_m$  LVL = 1.2

#### Coefficiente Kmod

Clase de servicio	Clase de duración de carga				
	Permanente	Larga duración	Duración media	Duración corta	Instantánea
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

#### KERTO-S

#### Coefficiente Kdef según el EC-5. KERTO-S

Clase de duración de carga	Clase de servicio		
	1	2	3
Permanente	0,6	0,8	2
Larga duración	0,5	0,8	1,5
Duración media	0,2	0,25	0,75
Duración corta	0	0	0,3

#### Valores de características mecánicas según Eurocódigo-5. KERTO-S

Propiedad	Símbolo	Valor característico	Unidad
<b>Valores característicos (5%)</b>			
<b>Resistencia a la Flexión</b>			
Vertical	$f_{m0,edge,k}$	44.0	N/mm <sup>2</sup>
Parámetro de efecto tamaño	s	0.12	N/mm <sup>2</sup>
Plana	$f_{m0,flat,k}$	50.0	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a la Tracción</b>			
Paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	35.0	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a la fibra, vertical	$f_{t,90,edge,k}$	0.8	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a la fibra, plana	$f_{t,90,flat,k}$	-	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a la compresión</b>			
Paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	35	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a la fibra, vertical	$f_{c,90,edge,k}$	6.0	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a la fibra, plana	$f_{c,90,flat,k}$	1.7	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a cortante</b>			
Vertical	$f_{v,0,edge,k}$	4.1	N/mm <sup>2</sup>
Plana	$f_{v,0,flat,k}$	2.3	N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad</b>			
Paralelo a fibra	$E_{0,k}$	11.600	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, vertical	$E_{90,k}$	350	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, plana	$E_{90,flat,k}$	100	N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de cortante</b>			
Vertical	$G_{0,k}$	400	N/mm <sup>2</sup>
Plana	$G_{0,k}$	400	N/mm <sup>2</sup>
<b>Densidad</b>			
	$\rho_k$	480	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Valores medios</b>			
<b>Módulo de elasticidad</b>			
Paralelo a fibra	$E_{0,mean}$	13.800	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, vertical	$E_{90,mean}$	430	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, plana	$E_{90,mean}$	130	N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de cortante</b>			
Vertical	$G_{0,mean}$	600	N/mm <sup>2</sup>
Plana	$G_{0,mean}$	600	N/mm <sup>2</sup>
<b>Densidad</b>			
	$\rho_{mean}$	510	Kg/m <sup>3</sup>

### 3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y VALORES DE CÁLCULO DEL KERTO-Q

#### Valores de características mecánicas según Eurocódigo-5. KERTO-Q

Propiedad	Símbolo	Valor característico para espesores de		Unidad
		27-49 mm	21-24 mm	
<b>Valores característicos (5%)</b>				
<b>Resistencia a la Flexión</b>				
Vertical	fm0,edge,k	32.0	28.0	N/mm <sup>2</sup>
<b>Parámetro de efecto tamaño</b>				
Plana	fm0,flat,k	36.0	32.0	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a la Tracción</b>				
<b>Paralela a la fibra</b>				
Perpendicular a la fibra, vertical	ft,90,edge,k	6.0	6.0	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a la fibra, plana	ft,90,flat,k	-	-	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a la compresión</b>				
<b>Paralela a la fibra</b>				
Perpendicular a la fibra, vertical	fc,90,edge,k	9.0	9.0	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a la fibra, plana	fc,90,flat,k	1.8	1.8	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a cortante</b>				
<b>Vertical</b>				
Vertical	fv,0,edge,k	4.5	4.5	N/mm <sup>2</sup>
<b>Plana</b>				
Plana	fv,0,flat,k	1.3	1.3	N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad</b>				
<b>Paralelo a fibra</b>				
Paralelo a fibra, vertical	E0,k	8.800	8.300	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, vertical	E90,k	2.000	2.000	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, horizontal	E90,k	100	100	N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de cortante</b>				
<b>Vertical</b>				
Vertical	G0,k	400	400	N/mm <sup>2</sup>
<b>Plana</b>				
Plana	G0,k	-	-	N/mm <sup>2</sup>
<b>Densidad</b>				
Densidad	ρk	480	480	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Valores medios</b>				
<b>Módulo de elasticidad</b>				
<b>Paralelo a fibra</b>				
Paralelo a fibra, vertical	E0,mean	10.500	10.000	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, vertical	E90,mean	2.400	2.400	N/mm <sup>2</sup>
Perpendicular a fibra, horizontal	E90,mean	130	130	N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de cortante</b>				
<b>Vertical</b>				
Vertical	G0,mean	600	600	N/mm <sup>2</sup>
<b>Plana</b>				
Plana	G0,mean	-	-	N/mm <sup>2</sup>
<b>Densidad</b>				
Densidad	ρmean	510	510	Kg/m <sup>3</sup>

#### Coefficiente Kdef según el EC-5. KERTO-Q

Clase de duración de carga	Clase de servicio		
	1	2	3
Permanente	0,8	1	2,5
Larga duración	0,5	0,6	1,8
Duración media	0,25	0,3	0,9
Duración corta	0	0	0,4

#### Composición de los paneles KERTO-Q

Consideramos un panel de 1m de ancho

Espesor mm	Composición	Nº de láminas longitudinales	Área total A cm <sup>2</sup> /m	Área neta A* cm <sup>2</sup> /m	Peso P Kg/m <sup>2</sup>
21	II+II	5, 15 mm	210	150	10,71
24	II+II+II	6, 18 mm	240	180	10,24
27	II+III+II	7, 21 mm	270	210	13,77
33	II+III+III+II	9, 27 mm	330	270	16,83
39	II+III+III+III+II	10, 30 mm	390	300	19,89
45	II+III+III+III+III+II	12, 36 mm	450	360	22,95
51	II+III+III+III+III+III+II	14, 42 mm	510	420	26,01
57	II+III+III+III+III+III+III+II	14, 42 mm	570	420	29,07
63	II+III+III+III+III+III+III+III+II	16, 48 mm	630	480	32,13
69	II+III+III+III+III+III+III+III+III+II	18, 54 mm	690	540	35,19

\* El Área neta corresponde al área total descontando las capas cruzadas

### Comportamiento ante el fuego

El comportamiento al fuego, es igual al de cualquier tipo de estructura de madera. Hay que tener en cuenta los valores de velocidad de carbonización y resistencia mecánica. El cálculo de estabilidad al fuego debe realizarse según lo indicado en la Norma EC-5 Parte 1.2

Para el cálculo de la resistencia mecánica se debe utilizar el siguiente valor del coeficiente Kfi

$$Kfi = 1.1$$

#### Velocidad de carbonización:

Se deben utilizar las siguientes velocidades de carbonización en función del método de cálculo utilizado:

$\beta_0 = 0.7 \text{ mm/min}$   
velocidad de carbonización, incluyendo el efecto de las aristas y fisuras.

$\beta_0 = 0.65 \text{ mm/min}$   
velocidad de carbonización básica, para la carbonización en una dimensión y con una exposición estándar al fuego

### Reacción al fuego.

El Kerto está clasificado como M-3, al ser su espesor superior a 18 mm. Esta clasificación corresponde al KERTO sin ningún tipo de tratamiento, en el caso de ser preciso una reacción al fuego de tipo M2 o M1. Esta se puede obtener aplicando barnices o tratamientos ignífugos. Para mejorar el comportamiento del kerto-q frente al fuego, en metropol parasol se utiliza el sobredimensionado de los paneles (con menos sección ya aguantarían) y de este modo, aseguran el cumplimiento con la normativa vigente en construcciones en el espacio público.

### Durabilidad y tratamiento

La durabilidad natural del KERTO es Clase 1, según Norma UNE-EN 350-2. Durante la fabricación del KERTO, no se aplica ningún producto protector. Por lo que su durabilidad natural corresponde a la madera de abeto. Las colas fenólicas utilizadas en su fabricación, permiten su utilización hasta una clase de riesgo 4.

El tratamiento protector se efectuará en función de la clase de riesgo a que este sometido. Para una clase de riesgo 1, no es preciso ningún tratamiento protector, en aplicaciones habituales con clases de riesgo 2 y 3, una protección a base de lasures y /o tratamiento de fondo, es suficiente. Clases de riesgo según Norma UNE-EN 335.

#### Tratamiento en Autoclave.

Es posible tratar el KERTO en Autoclave CCA, hasta una clase de riesgo 3, pero al ser madera de abeto presenta las siguientes limitaciones:  
Obligatoriedad de utilizar Kerto-Q.  
Anchura máxima de los paneles de 900 mm.  
Y se debe seguir un ciclo especial con tiempos de ciclos de presión alargados, realizado por una fábrica debidamente formada.

## 6. EL POLIURETANO

La Espuma de Poliuretano es un material sintético y duroplástico, altamente reticulado y no fusible, que se obtiene de la mezcla de dos componentes generados mediante procesos químicos a partir del petróleo y el azúcar: el Isocianato y el Polioli.

Además de otras aplicaciones, en el campo de la construcción es muy utilizado, generalmente como aislante térmico dadas sus condiciones. Sus principales propiedades son la capacidad aislante (de las más altas entre las utilizadas en construcción), su estanqueidad al agua y el no representar una barrera de vapor, así no se producen humedades que puedan degenerar en hongos o similares. Además también te ofrece alta adherencia, eficaz adaptabilidad, aplicación continua sin juntas ni puentes térmicos y también responde bien ante la abrasión.

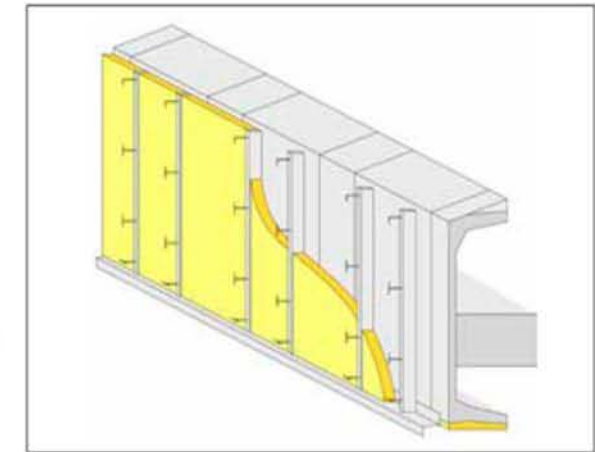
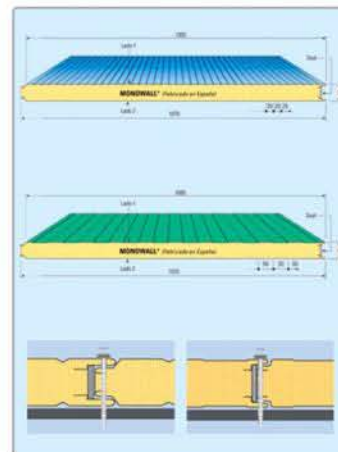
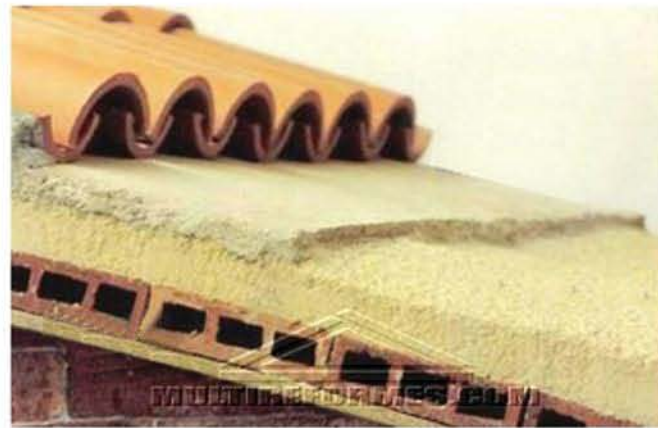
Se utiliza normalmente como aislante en fachada o cubierta, protegido normalmente ante los agentes externos con grosores que suelen rondar los 40mm. También en suelos para aislamiento acústico con grosores un poco menores. Pero este material se ha desarrollado y dado sus características se ha adaptado al exterior. El concepto anterior del poliuretano cambia totalmente, pasa de 40mm a 2-4mm. El esmalte de poliuretano es desarrollado a base de un componente de polisocianatos y pigmentos colorantes e inertes, que endurece por la adición de un reactivo químico, a partir de resinas con grupos hidroxilos libres. Así consigue resistencia a la abrasión, al impacto, a la intemperie y exposición en ambientes salinos.

En el proyecto del Metropol Parasol se ha adoptado esta solución que ayuda no sólo a proteger al "kerto q" si no también a los perfiles metálicos. Entendemos que esta es la principal innovación que se produce en el Metropol Parasol, sin olvidar de la otra gran novedad que ha aportado esta obra en el campo de la tecnología y los materiales en la arquitectura, el uso del KERTO-Q en exteriores.

Por tanto, entendemos que la innovación más importante de la obra es el uso del KERTO-Q en exteriores y como material estructural substituyendo al acero con el que inicialmente se planteó el proyecto, y esta principal innovación ha sido posible únicamente por el otro gran descubrimiento técnico, el uso del poliuretano proyectado como protector de esta madera encolada y laminada procedente del abeto. Si bien no es un material nuevo, su uso y los requerimientos que le son solicitados en este proyecto poco tienen que ver con la forma tradicional de aplicar el poliuretano, que como hemos leído en líneas anteriores y visto en las imágenes que acompañan este texto, se le han sido tradicionalmente solicitadas otras cualidades en la construcción, principalmente como aislante térmico (uno de los mejores del mercado) tanto en proyección como en paneles/placas.

Cabe decir que la utilización de poliuretano proyectado era una solución empleada con una aplicación in-situ, a pie de obra, usualmente para rehabilitaciones, mejoras térmicas en fachadas preexistentes o en nuevas medianeras fruto de la desaparición de edificios vecinos etc. Esta vez, la aplicación de este material en proyección se ha realizado en fábrica y no a pie de obra, por tanto ha pasado a formar parte de un conjunto de panel totalmente prefabricado (kerto-q, ángulos de acero, uniones, tensores y recubrimiento de poliuretano proyectado). Anteriormente, el poliuretano como elemento prefabricado únicamente se había producido en paneles espumosos y no en proyección sobre otros elementos, como es el caso de Metropol Parasol.

Por tanto, hablamos de dos innovaciones que sumadas generan una innovación general merecedora de este estudio y que ha abierto un campo de posibilidades muy grande en el uso de esta madera kerto-q como material estructural de alta resistencia y capaz de estar a la intemperie gracias a una fina capa de poliuretano.





**Josep Maria González**  
Professor titular

**Josep Ignasi de Llorens**  
Catedràtic